

Pengembangan Model Pembentukan Sel dengan Kriteria Majemuk

Trifenaus Prabu Hidayat

Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Indonesia Atmajaya
Jalan Jendral Sudirman 51 Jakarta 12930
Email: hidayat_tp@yahoo.com

Received 1 February 2016; Accepted 1 April 2016

Abstract

Stages of designing the layout of the manufacturing cell involves three steps: (1) the cells formation, (2) designing the layout of the intracellular and (3) designing the layout of intercellular. This study made a model of cell formation. At this stage of cell formation, the criteria to be considered are the cost of an additional investment of machinery, material handling costs intracellular, intercellular material handling costs, cost of work in process and penalty fees under the machine utilization. Intracellular layout design stage, the criteria to be considered is the cost of work-in-process. While the design stage layout intercellular consider the cost of work-in-process. The performance of the layout of the cells was evaluated using a numerical example.

keywords : Group technology, Cellular layout, Cell Formation Problem

1. PENDAHULUAN

Sel manufaktur, aplikasi *Group Technology* (GT), menggunakan konsep pembagian dan pengelompokan mesin, proses dan tenaga kerja ke dalam sel untuk membuat atau merakit part atau produk yang sama. (Heragu, 1997). Sel manufaktur telah diakui sebagai salah satu pendekatan yang inovatif untuk meningkatkan produktivitas dan fleksibilitas yaitu mengubah produksi batch-type ke dalam produksi line-tipe dalam lingkungan produksi dengan produk beragam dan volume rendah. Salah satu permasalahan yang harus dipecahkan dalam langkah perancangan sel manufaktur adalah pembentukan sel atau pengelompokan mesin dan part. Pembentukan sel ini dilakukan pada kemiripan dalam perancangan *features* atau kebutuhan pemrosesan, part dikelompokkan kedalam keluarga part (*family*), dan mesin ke dalam sel. Setiap family part kemudian diproses dalam satu sel mesin tertentu. Prosedur perancangan yang didasarkan pada perancangan *features* dari part membutuhkan system klasifikasi dan pengkodean (Malakooti & Yang, 2002).

Salah satu permasalahan yang harus dipecahkan dalam langkah perancangan sel manufaktur adalah pembentukan sel atau kelompok mesin-part. Kebanyakan dari metode yang dikembangkan dalam literature mengenai pembentukan sel atau kelompok mesin-part yang memiliki satu fungsi tujuan untuk dioptimalkan. Su dan Hsu (1998) memperkenalkan parallel simulated annealing (PSA) dengan manfaat algoritma genetic dan PSA yang diajukan untuk prosedur solusi meminimasi (1) total biaya investasi mesin, biaya transportasi inter dan intra-cell (2) ketidakseimbangan load mesin intra-cell dan (3) ketidakseimbangan load mesin inter-cell.

Mansouriet *et al.* (2000) memberikan review dan perbandingan dari pendekatan *multiple criteria decision-making* (MCDM) dalam perancangan sel manufaktur. Suresh dan Slomp (2001) mengembangkan prosedur *multi-objective* untuk penugasan tenaga kerja dan pengelompokan dalam kapasitas permasalahan pembentukan sel. Malakooti dan Yang (2002) mengembangkan

pendekatan MCDM untuk penyelesaian permasalahan pembentukan sel dengan tujuan yang bertentangan. Tujuannya adalah memaksimalkan utilisasi mesin, meminimasi jumlah duplikasi mesin dan meminimasi jumlah exception element.

Perancangan tata letak sel manufaktur yang dikembangkan oleh Heragu, 1997 terdiri atas 3 tahap yaitu:

- 1) pembentukan sel (pengelompokan mesin dalam sel);
- 2) perancangan tata letak mesin dalam sel; dan
- 3) perancangan tata letak antar sel.

Bazargan-Lariet *et al.*, (2002) mengembangkan penelitian tata letak sel manufaktur dengan pendekatan integrasi berdasarkan 3 tahap perancangan tata letak sel manufaktur. Tahap pembentukan sel menggunakan model pembentukan sel yang telah ada,

Sedangkan tahap perancangan tata letak mesin dalam sel dan perancangan tata letak antar sel mempertimbangkan seperti isu dimensi mesin/sel, hubungan kedekatan, aisles, pembatas lokasi dan yang terpenting darisemuanya adalah pembangkitan perancangan tata letak yang beragam.

Kecenderungan penelitian yang muncul dalam perancangan tataletak fasilitas adalah pengintegrasian dari isu operasional (seperti: inventori, ukuran *batch* tranfer dan penjadwalan) dan struktural (seperti: pemilihan peralatan material handling, tataletak fasilitas). Disamping itu biaya *work-in-proses* (WIP) adalah faktor yang paling utama dalam perancangan dan evaluasi tataletak, Fu dan Kaku (1997) meneliti hubungan antara material handling dan WIP dengan model *open queuing network*. Dalam penelitiannya menggunakan simulasi dan menghasilkan bahwa tataletak yang memperkecil WIP juga akan memperkecil material handling.

Penelitian yang akan dilakukan adalah membuat pendekatan pembentukan sel dengan mempertimbangkan kriteria *work in process* pada saat pengiriman material oleh material handling. Penelitian ini akan mempertimbangkan beberapa kriteria dalam satu fungsi tujuan. Kriteria yang digunakan adalah biaya penambahan investasi mesin, biaya material handling intrasel, biaya material handling intersel, biaya *work in process* dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi*. Sedangkan pada perancangan tata letak mesin dalam sel dan tata letak antar sel mempertimbangkan kriteria *work in process* dalam perancangan tata letak. Perancangan tata letak mesin dalam sel mempertimbangkan bentuk *U-*

shaped, sedangkan perancangan tata letak antar sel mempertimbangkan bentuk *spine*. Penelitian ini bertujuan membuat model pembentukan sel dengan mempertimbangkan kriteria biaya penambahan investasi mesin, biaya material handling intrasel, biaya material handling intersel, biaya *work in process* dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi*, membuat model perancangan tata letak mesin dalam sel berbentuk *U-shaped* dengan mempertimbangkan biaya *work-in-proces*, dan membuat model perancangan tata letak antar sel yang berbentuk *spine* dengan mempertimbangkan biaya *work-in-process*.

2. METODE PENELITIAN

Pengembangan dilakukan pada tahap pembentukan sel (pengelompokan mesin dalam sel), tahap perancangan tata letak mesin dalam sel dan tahap perancangan tata letak antar sel. Pada tahap pembentukan sel dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria biaya penambahan investasi mesin, biaya material handling intrasel, biaya material handling intersel, biaya *work in process* dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi*. Tahap perancangan tata letak mesin dalam sel berbentuk *U-shaped* dengan mempertimbangkan biaya *work-in-process*. Sedangkan pada tahap perancangan tata letak antar sel berbentuk *spine* dengan mempertimbangkan biaya *work-in-process*.

2.1. Pembentukan Sel

Pembentukan sel manufaktur yang akan dibuat untuk permintaan yang statik. Berbeda dengan model *multicriteria* pembentukan sel Mansouri et.al (2001) dan model *multicriteria* pembentukan sel Malakooti dan Yang (2002), penelitian ini memiliki fungsi tujuan dalam pembentukan sel terdiri dari 5 kriteria yaitu biaya investasi mesin, biaya material handling intrasel, biaya material handling intersel, biaya *work-in-process*, dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi*. Pembatas pembentukan sel pada penelitian adalah kapasitas mesin dan ukuran mesin.

Persamaan fungsi tujuan pembentukan sel adalah sebagai berikut:

Minimasi:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M JDM_{mc} BIM_m & + \\
 & \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^{J-1} \frac{PP_p}{BT_p} BMH_{intra} X_{j+1,jpc} & + \\
 & \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^{J-1} \frac{PP_p}{BT_p} BMH_{inter} (1 - x_{j+1,jpc}) & +
 \end{aligned}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^{J-1} BI_p BT_{p(j+1)jmc} + \sum_{m=1}^M (1-UM_m)BPMU \dots\dots\dots (1)$$

Fungsi tujuan pembentukan sel adalah meminimasi biaya investasi mesin, biaya intercell material handling, biaya work-in-process, dan biaya penalti mesin yang under utilisasi

Pada pembentukan sel ini terdapat beberapa pembatas yaitu batasan kapasitas mesin dan ukuran mesin dalam setiap sel. Penjelasan komponen pembatas akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pembatas setiap operasi part dilakukan pada satu mesin dan satu sel

$$\sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M op_{jpm} x_{jpmc} = 1 \dots\dots\dots (2)$$

- b. Pembatas kapasitas mesin tidak melebihi dan dapat memenuhi semua permintaan part

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J PP_p t_{jpm} x_{jpmc} \leq CM_m JDM_{mc} \dots\dots\dots (3)$$

- c. Pembatas ukuran sel tidak melebihi dari ukuran sel yang diperkenankan

$$\sum_{m=1}^M JDM_{mc} \leq UC \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

c = index untuk sel manufaktur (c = 1, 2,, C)

m = index untuk tipe mesin (m = 1, 2,, M)

p = index untuk tipe produk/part (p = 1, 2,, P)

j = index untuk operasi yang dibutuhkan oleh part p (j = 1, 2,, J)

2.2. Perancangan Tata Letak Mesin dalam Sel

Dalam perancangan tata letak mesin sel berbentuk U-shaped yang diusulkan mempunyai fungsi tujuan yaitu : meminimasi biaya material handling intrasel dan biaya work-in-process. Fungsi tujuan dalam perancangan tata letak mesin berbentuk U-shaped ditunjukkan pada persamaan berikut:

minimasi:

$$\sum_{i=1}^{C-1} \sum_{j=i+1}^C \sum_{p=1}^P BI_p BT_{pij} + \sum_{i=1}^{C-1} \sum_{j=i+1}^C \sum_{p=1}^P \frac{PP_p}{BT_{pij}} BMH_{pij} \left(|x_i - x_j|^2 + |y_i - y_j|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (5)$$

dimana,

BI_p = biaya work in process tipe part p / nilai produk/part tipe p

BT_{pij} = ukuran batch transfer tipe part p antar mesin i dan mesin j

PP_p = permintaan tipe part p

BHM_{pij} = biaya material handling untuk produk p antar mesin i dan mesin j

(x_i, y_i) = koordinat dari lokasi sel i

Dalam perancangan tata letak mesin dalam sel berbentuk U-shaped terdapat beberapa kondisi yang harus diperhatikan:

- a. kondisi 2 mesin tidak overlapping

2 sel yaitu mesin i dan mesin j tidak overlapping apabila pada proyeksi sumbu x dan proyeksi sumbu y terjadi kondisi sebagai berikut:

$$|x_i - x_j| + MZ_{ij} \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) \dots\dots\dots (6)$$

$$|y_i - y_j| + M(1 - Z_{ij}) \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \dots\dots\dots (7)$$

$$Z_{ij}(1 - Z_{ij}) = 0 \dots\dots\dots (8)$$

Dimana : l_i = panjang mesin i terhadap sumbu y, b_i = panjang mesin i terhadap sumbu x, M = konstanta dengan nilai yang besar, Z_{ij} bernilai 0 atau 1.

- b. Lokasi yang dibatasi/tidak diperbolehkan untuk ditempatkan mesin

- Daerah yang dibatasi/tidak diperbolehkan untuk ditempatkan mesin menunjukkan area pembatas dimana mesin tidak boleh ditempatkan pada area tersebut. Apabila koordinat lokasi yang tidak diperbolehkan untuk ditempatkan mesin (α, β) dengan dimensi γ_x dan γ_y

- Jika diinginkan area tersebut dibatasi untuk kemungkinan alokasi dari mesin i, dipastikan bahwa mesin i tidak overlapping dengan daerah tersebut (ditunjukkan gambar IV.4), sebagai berikut:

$$x_i + \frac{1}{2}b_i \leq \alpha_1 + \gamma_x \quad \text{dan}$$

$$y_i + \frac{1}{2}l_i \leq \beta_1 + \gamma_y \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$x_i - \frac{1}{2}b_i \geq \alpha_1 + \gamma_x \quad \text{dan}$$

$$y_i - \frac{1}{2}l_i \geq \beta_1 + \gamma_y \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$x_i - \frac{1}{2}b_i \geq \beta_2 \quad \text{dan}$$

$$y_i + \frac{1}{2}b_i \geq y_max \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$x_i - \frac{1}{2}l_i \geq \max\{b_i\} \quad \text{dan}$$

$$x_i + \frac{1}{2}l_i \geq \max\{b_i\} + \max\{l_i\} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana : (α_1, β_1) dan (α_2, β_2) = koordinat lokasi yang tidak diperbolehkan untuk ditempatkan mesin, γ_x = panjang lokasi yang tidak diperbolehkan untuk

ditempatkan mesin terhadap sumbu x, γ_y
= lebar lokasi yang tidak diperbolehkan
untuk ditempatkan mesin terhadap sumbu
y

c. Pembatas lantai produksi

- setiap mesin harus dialokasikan di dalam area lantai produksi.
- Pembatas atas x dan y dari lantai produksi yaitu \max_x dan \max_y (ditunjukkan gambar 4.4)

$$x_i - \frac{1}{2}l_i \geq 0 \quad \text{dan}$$

$$x_i + \frac{1}{2}l_i \leq \max_x \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$y_i - \frac{1}{2}l_i \geq 0 \quad \text{dan}$$

$$y_i + \frac{1}{2}b_i \leq \max_y \quad \dots\dots\dots (14)$$

Dimana

$$\alpha_1 = \max\{b_i\}, \quad \alpha_2 = \max\{b_i\} + \min\{l_i\},$$

$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^m l_i - \min\{l_i\}}{2},$$

$$\max_x = (2 \times \max\{b_i\}) + \min\{l_i\},$$

$$\max_y = \frac{\sum_{i=1}^m l_i - \min\{l_i\}}{2} + b_i \text{ dari } \min\{l_i\},$$

2.3. Perancangan Tata Letak antar Sel

Dalam perancangan tata letak antar sel berbentuk *spine* yang diusulkan mempunyai fungsi tujuan yaitu : meminimasi biaya material handling antar sel dan biaya *work-in-process*. Fungsi tujuan dalam perancangan tata letak mesin berbentuk *spine* ditunjukkan pada persamaan berikut:

minimasi:

$$\sum_{i=1}^{C-1} \sum_{j=i+1}^C \sum_{p=1}^P BI_p BT_{pij} + \sum_{i=1}^{C-1} \sum_{j=i+1}^C \sum_{p=1}^P \frac{PP_p}{BT_{pij}} BMH_{pij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad \dots\dots\dots (15)$$

dimana,

BI_p = biaya *work in process* tipe part p / nilai produk/part tipe p

BT_{pij} = ukuran batch transfer tipe part p antar sel i dan sel j

PP_p = permintaan tipe part p

BHM_{pij} = biaya material handling untuk produk p antar sel i dan sel j

(x_i, y_i) = koordinat dari lokasi sel i

Beberapa kondisi dalam perancangan tata letak antar sel berbentuk *spine*:

a. kondisi 2 sel tidak overlapping

2 sel yaitu sel i dan sel j tidak overlapping apabila pada proyeksi sumbu x dan proyeksi sumbu y terjadi kondisi sebagai berikut:

$$|x_i - x_j| + MZ_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$|y_i - y_j| + M(1 - Z_{ij}) \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) + \gamma_y \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$Z_{ij}(1 - Z_{ij}) = 0 \quad \dots\dots\dots (18)$$

Dimana : l_i = panjang sel i terhadap sumbu x, b_i = panjang sel i terhadap sumbu y, M = konstanta dengan nilai yang besar, Z_{ij} bernilai 0 atau 1.

b. Lokasi yang dibatasi/tidak diperbolehkan untuk ditempatkan sel

- Daerah *spine* menunjukkan area pembatas dimana sel tidak boleh ditempatkan pada area tersebut. Apabila koordinat *spine* (α, β) dengan dimensi γ_x dan γ_y

- Jika diinginkan area tersebut dibatasi untuk kemungkinan alokasi dari sel i, dipastikan bahwa sel i tidak *overlapping* dengan daerah *spine* (ditunjukkan gambar IV.7), sebagai berikut:

$$x_i + \frac{1}{2}l_i \leq \alpha + \gamma_x \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$x_i - \frac{1}{2}l_i \geq \alpha + \gamma_x \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$y_i + \frac{1}{2}b_i \leq \beta + \gamma_y \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$y_i - \frac{1}{2}b_i \geq \beta + \gamma_y \quad \dots\dots\dots (22)$$

Dimana : (α, β) = koordinat *spine*, γ_x = panjang *spine* terhadap sumbu x, nilai $\gamma_x = \max_x$, γ_y = lebar *spine* terhadap sumbu y

c. Pembatas lantai produksi

- setiap sel harus dialokasikan di dalam area lantai produksi.
- Pembatas atas x dan y dari lantai produksi yaitu \max_x dan \max_y (ditunjukkan gambar IV.8)

$$x_i - \frac{1}{2}l_i \geq 0 \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$y_i - \frac{1}{2}b_i \geq 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$x_i + \frac{1}{2}l_i \leq \max_x \dots\dots\dots (25)$$

$$y_i + \frac{1}{2}b_i \leq \max_y \dots\dots\dots (26)$$

Dimana : penentuan nilai max_x dan max_y adalah sebagai berikut:

max_x = panjang maksimum lantai produksi,

nilai max_x = penjumlahan panjang $(\sum_{i=1}^{n/2} l_i)$

dengan nilai terbesar sampai ke n/2 untuk l_i

max_y = lebar maksimum lantai produksi, nilai

max_y = $2 \times \max\{b_i\} + \gamma_y$, $\gamma_x = \max_x$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unjuk kerja tata letak sel dievaluasi dengan menggunakan contoh numerik yang digunakan untuk mengevaluasi program. Data produksi diperlukan adalah data hipotetik yaitu berupa: tipe produk/part, kode produk/part, jumlah permintaan part, ukuran transfer, data urutan permesinan produk/part, waktu proses, tipe mesin, jumlah tipe mesin, kapasitas mesin, biaya investasi pengadaan mesin baru, biaya material handling intracell, biaya material handling intercell, dan nilai barangproduk/part (biaya WIP).

Dalam pembentukan sel ini menggunakan software visual studio 2005 didapatkan hasil pengelompokan mesin dalam sel sebagai berikut:

Sel 1 terdiri dari 4 tipe mesin yaitu M10, M1, M14 dan M9

Sel 2 terdiri dari 3 tipe mesin yaitu M8, M11 dan M3

Sel 3 terdiri dari 5 tipe mesin yaitu M12, M5, M13, M7 dan M2

Sel 4 terdiri dari 3 tipe mesin yaitu M4, M6 dan M15

Berdasarkan pengelompokan mesin dalam sel yang dihasilkan, nilai fungsi tujuan adalah Rp9.899.470.791,99. Nilai tersebut terdiri atas:

Nilai biaya investasi pengadaan mesin baru adalah Rp 0

Nilai biaya material handling intra sel adalah Rp9.610.000

Nilai biaya material handling inter sel adalah Rp 3.910.000

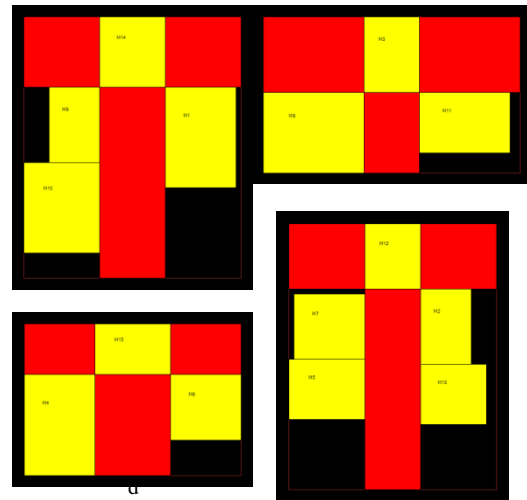
Nilai biaya nilai barang yang dipindahkan (WIP) adalah Rp 9.885.350.000

Nilai biaya penalti mesin yang under utilisasi adalah Rp 600.791,99

Hasil perancangan tata letak mesin dalam sel adalah sebagai berikut :

Nilai fungsi tujuan tata letak mesin dalam sel untuk sel 1 adalah Rp2.121.723.463,39, yang terdiri atas biaya material handling intrasel = Rp 767.173.463,39 dan biaya *work-in-process* = Rp 1.354.550.000. Nilai fungsi tujuan tata letak mesin

dalam sel untuk sel 2 adalah Rp 2.362.441.785,85, yang terdiri atas biaya material handling intrasel = Rp 618.041.785,85 dan biaya *work-in-process* = Rp 1.744.400.000. Nilai fungsi tujuan tata letak mesin dalam sel untuk sel 3 adalah Rp 381.578.6137,31, yang terdiri atas biaya material handling intrasel = Rp 423.836.137,31 dan biaya *work-in-process* = Rp 3.391.950.000. Nilai fungsi tujuan tata letak mesin dalam sel untuk sel 4 adalah Rp 1.933.075.833,55, yang terdiri atas biaya material handling intrasel = Rp 279.875.833,55 dan biaya *work-in-process* = Rp 1.653.200.000. Tata letak mesin dalam sel untuk sel 1, sel 2, sel 3 dan sel 4 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata Letak Mesin dalam Sel, (a) sel 1; (b) sel 2 ; (c) sel 3 ; (d) sel 4

Nilai fungsi tujuan tata letak antar sel untuk sel adalah Rp 3.261.582.823,94, yang terdiri atas biaya material handling intrasel = Rp 1.520.332.823,94 dan biaya *work-in-process* = Rp 1.741.250.000. Berdasarkan hasil maka didapatkan dimensi tata letak antar sel 890 x 880. Hasil perancangan tata letak antar sel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tata Letak antar Sel

Kebanyakan dari metode yang dikembangkan dalam literatur mengenai pembentukan sel atau

kelompok mesin-part yang memiliki satu fungsi tujuan untuk dioptimalkan. Setelah memecahkan permasalahan pembentukan sel, apabila terdapat *exceptional element* pada struktur sel akhir, beberapa metoda mengusulkan beberapa duplikasi pada mesin yang *bottleneck*, atau mensubkontrakan *exceptional part* untuk mendapatkan sel yang *independent*. Dari pandangan praktis, beberapa isu seperti biaya duplikasi mesin, biaya transportasi part, dan rata-rata utilisasi mesin, harus diambil ke dalam pertimbangan ketika merancang sel mesin/part. Hal tersebut membutuhkan analisis sistematis untuk mengidentifikasi tujuan dan kriteria yang berbeda untuk membuat dan mengevaluasi dari alternatif.

Berdasarkan hasil pembentukan sel dengan kriteria majemuk jika dibandingkan dengan pembentukan sel dengan kriteria tunggal adalah: Apabila solusi pembentukan sel dengan kriteria tunggal terdapat *intercellular movement*, cara yang digunakan untuk dapat menghilangkan *intercellular movement* tersebut adalah memberikan duplikasi mesin yang *intercellular movement*, mensubkontrakan part yang *intercellular movement*. Cara tersebut dilakukan untuk menghasilkan solusi kelompok sel yang *independent*. Sedangkan pada pembentukan sel dengan kriteria majemuk telah mempertimbangkan pandangan praktis atau isu operasional dalam mempertimbangkan pembentukan sel. Pembentukan sel tersebut dalam perhitungannya akan terjadi *trade-off* antara kriteria untuk mendapatkan solusi pembentukan sel yang minimum.

Dengan contoh numerik yang ada dan solusi yang dihasilkan maka dapat diberikan gambaran hubungan antara kriteria. Hubungan atau *trade-off* antara kriteria yang digunakan untuk kriteria penambahan investasi mesin, biaya material handling intrasel, biaya material handling intersel, dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi* adalah: biaya penalti mesin yang *under utilisasi* meningkat (bila tidak terjadi penambahan investasi mesin) apabila jumlah sel yang terbentuk besar, biaya material handling intersel akan meningkat (bila tidak terjadi penambahan investasi mesin) apabila jumlah sel yang terbentuk besar, biaya penalti mesin yang *under utilisasi* meningkat (untuk jumlah sel yang tetap) apabila penambahan investasi mesin besar, biaya material handling intersel menurun (untuk jumlah sel yang tetap) apabila penambahan investasi mesin besar tetapi akan menyebabkan biaya intrasel akan besar. Model pembentukan sel dengan kriteria majemuk akan mencari nilai biaya total yang minimum

berdasarkan *trade-off* tersebut diatas. Adapun solusi akhir yang diberikan memperbolehkan terjadinya *intercellular movement* apabila biaya material handling intersel lebih kecil dibandingkan biaya penambahan investasi mesin ditambahkan biaya mesin yang *under utilisasi*.

4. KESIMPULAN

Beberapakesimpulan yang dapat diberikan pada penelitian ini:

- a. Model pembentukan sel dengan mempertimbangkan kriteria biaya penambahan investasi mesin, biaya intracellular material handling, biaya intercellular material handling, biaya work in process dan biaya penalti mesin yang *under utilisasi* tidak dapat dipergunakan untuk kasus yang memiliki jumlah tipe mesin yang besar.
- b. Model perancangan tata letak mesin dalam sel berbentuk U-shaped dengan mempertimbangkan biaya work-in-proces diterapkan pada kasus alat material handling yang digunakan bergerak dengan penentuan jarak menggunakan metode euclidean.
- c. Model perancangan tata letak antar sel yang berbentuk spine dengan mempertimbangkan biaya work-in-proces diterapkan pada kasus alat material handling yang digunakan bergerak dengan penentuan jarak menggunakan metode rectilinear.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Akturk, M.S., & Turkcan, A., (2000). Cellular Manufacturing System Design using a Holonistic Approach, *International Journal of Production Research*, 38 (10): 2327–2347.
2. Bazargan-Lari, M., et al., (2000). Cell formation and layout designs in cellular manufacturing environment – a case study, *International Journal of Production Research*, 38 (7): 1689–1709.
3. Cabrera-Rios, M., Mount-Campbell, C. A., danIrani, S. A., (2000). An Approach to the Design of a Manufacturing Cell Under Economic Considerations, *Eleventh International Working Seminar on Production Economics*, Austria.
4. Dimopoulos, C., A Novel Approach for the Solution of the Multi-Objective Cell Formation Problem, *18th International Conference on Production Research*.
5. Francis, R. L., et. al, (1992). *Facility Layout and Location: an Analytical Approach*, Prentice – Hall, New Jersey.
6. Fu, M. C., & Kaku, B. K. (1997). Minimizing work-in-process and material handling in the

- facilities layout problem. *IEEE transactions*, 29(1), 29-36.
7. Gupta, Y., Gupta, M., Kumar, A., dan Sundran, C., (1995). Minimizing total inter- and intra-cell moves in cellular manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 8: 92-101.
 8. Heragu, S., (1997). *Facilities Design*. USA: PWS Publishing Company.
 9. Mansouri, S. A., MoattarHusseini, S. M., dan Newman, S. T., (2000). A review of the modern approaches to multi-criteria cell design, *International Journal of Production Research*, 38 (5): 1201-1218.
 10. Mansouri, S.A., Moattar-Husseini, S.M., Zegordi, S.M., (2002). Multi-criterion tackling bottleneck machines and exceptional parts in cell formation using genetic algorithms, Working Paper, Amirkabir University of Technology Iran.
 11. Malakooti, B., & Yang, Z., (2002), Multiple criteria approach and generation of efficient alternatives for machine-part family formation in group technology, *IIE Transactions*, 34: 837-846.
 12. Malakooti, B., Malakooti, N. R., dan Yang, Z., (2004), Integrated group technology, cell formation, process planning, and production planning with application to the emergency room, *International Journal of Production Research*, 42 (9): 1769-1786.
 13. RibeiroFilho, G., & Nogueira Lorena, L. A., A Constructive Evolutionary Approach to the Machine-Part Cell Formation Problem,.
 14. Sing, N., & Rajamani, D., (1996), Cellular Manufacturing System :Design, planning and control, *Chapman & Hall*, London UK.
 15. Saad, S.M., Baykasoglu, A., & Gindy, N.Z., (2002), An integrated framework for reconfigurable of cellular manufacturing systems using virtual cells, *Production Planning and Control*, 13 (4): 381-393.
 16. Su, C.-T., & Hsu, C.-M., (1998), Multi-objective machine-part cell formation through parallel simulated annealing, *International Journal of Production Research*, 36: 2185-2207.
 17. Suresh, N.C., & Slomp, J., (2001), A multi-objective procedure for labour assignments and grouping in capacitated cell formation problem, *International Journal of Production Research*, 39: 4103-4131.
 18. Thompkins J. A., et al, (2003), *Facilities Planning*, John Wiley & Son, Inc., Singapore,.